



Турбулизация улучшает теплообмен



Григорий СТОЯКИН

Grigory M. STOYAKIN

Существенную роль в обеспечении эксплуатационных свойств транспортных силовых установок играют теплообменные устройства. Одна из задач здесь – улучшение теплогидравлических характеристик гладкотрубных пучков труб с помощью искусственной турбулизации течения в пограничном слое возле поверхности.

Ключевые слова: транспортные силовые установки, энергетика, теплообмен, трубчатые теплообменные поверхности, искусственная турбулизация, эксперимент, гидравлические испытания.

Стоякин Григорий Михайлович – инженер, преподаватель кафедры «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

В энергетике, двигателестроении и других отраслях промышленности часто встречаются агрегаты, включающие в себя системы с лопаточными машинами (вентиляторы, компрессоры, турбины и т. п.), приводимыми в движение потоком газа или сообщаемыми ему кинетическую энергию, а также теплообменными устройствами для охлаждения или нагревания потока газа. К таким системам можно отнести, например, турбину и регенератор в газотурбинных установках, вентилятор и калорифер, центробежный компрессор и охладитель наддувочного воздуха, которые применяются в комбинированных двигателях внутреннего сгорания.

К числу главных требований, предъявляемых подобным системам, особенно в транспортных силовых установках, относятся компактность и эксплуатационная надёжность. Существенную роль в обеспечении их энергетических и технико-экономических показателей, эксплуатационных характеристик играют теплообменные устройства. Они должны гарантировать отвод или подвод нужного количества теплоты при минимальных затратах энергии на перемещение теплоносителей.

Ограничения по габаритам и массе теплообменных аппаратов, важные прежде всего для транспортных установок, делают необходимым поиск наиболее совершенных конструктивных форм и способов интенсификации процессов теплоотдачи. В транспортных вариантах достаточно широко распространены нагревательные и охладительные устройства с трубчатыми теплообменными поверхностями. Для повышения интенсивности теплопередачи в них часто применяют трубки с развитым оребрением. Однако при этом повышается и гидравлическое сопротивление теплообменника, сводя к минимуму ресурс эффективности теплопередающей поверхности.

Интенсивность процесса теплопередачи в значительной степени зависит от особенностей обтекания теплоносителем поверхности теплообмена, которые во многом определяются свойствами пограничного слоя возле этой поверхности.

Известно достаточно много способов влияния на характеристики пограничного слоя [2]: отсасывание, приведение стенки в движение в сторону течения, увеличение скорости пограничного слоя, придание телу специальной формы, вдувание другого газа, охлаждение стенки, применение скользящего разряда и др. Однако по технологическим причинам применять все это для попеременнообтекаемых трубных теплообменников теплотехнических установок не представляется возможным.

Воздействуя на пограничный слой, можно добиться, между тем, не только интенсификации теплообмена, но и снижения гидравлического сопротивления обтекаемой поверхности.

Одним из наиболее перспективных способов достижения такого эффекта есть основание считать использование искусственной турбулизации пограничного течения, приводящей к смещению линии его отрыва к кормовой части поверхности трубы. Дело в том, что при высоких значениях критерия Рейнольдса ($Re \approx 1,5 \cdot 10^5$) коэффициент гидравлического сопротивления «плохообтекаемых» тел, к которым относятся круглые трубки, резко падает. Как показал Л. Прандтль [1], это объясняется тем, что при переходе через определённую скорость происходит смена режи-

ма течения в пограничном слое с ламинарного на турбулентный; линия отрыва пограничного слоя (турбулентного) смещается вниз по течению. Это приводит к уменьшению силы гидравлического сопротивления при обтекании жидкостью цилиндрической поверхности. На турбулизацию пограничного слоя затрачивается энергия внешнего течения.

Разумеется, было бы желательно понизить значение Re , при котором происходит снижение гидравлического сопротивления, то есть расширить область работы теплообменного устройства с меньшими затратами энергии на преодоление гидравлического сопротивления в пучке труб. Исследования Л. Прандтля для одиночных неоребрённых скруглённых тел подтвердили, что искусственная турбулизация пограничного слоя позволяет даже при меньших значениях критерия Рейнольдса достичь эффекта, свойственного явлению «кризиса сопротивления», и тем самым снизить гидравлическое сопротивление плохообтекаемого тела.

Проведённые автором гидравлические испытания на шахматных пучках трубок с продольными турбулизаторами круглого сечения, расположенными вблизи линии отрыва ламинарного пограничного слоя от поверхности трубок [3], показали, что при применении турбулизаторов кризис сопротивления сместился к величине $Re \approx 10^4$ в отличие от значений $Re \approx 1,5 \cdot 10^5$ для гладких пучков.

Для оценки теплотехнических свойств теплообменников с искусственными турбулизаторами течения был создан экспериментальный стенд, на котором с использованием метода постоянного теплового потока проводились исследования теплогидравлических характеристик шахматных семирядных пучков одинаковой компоновки, составленных из гладких трубок наружным диаметром 10 мм и таких же трубок с продольными турбулизаторами диаметром 0,15 мм. При этом фронтальный и продольный шаги трубок в пучках составляли 21 мм. Калориметром являлась одна из трубок, которую можно было установить в любом ряду пучка.

Опытные данные обрабатывались в виде критериальной зависимости $Nu=f(Re; Pr)$. В качестве температуры, определяю-





72

Рис. 1. Результаты экспериментального исследования.

- – гладкотрубный пучок;
- ♦ – пучок из трубок с продольными турбулизаторами.

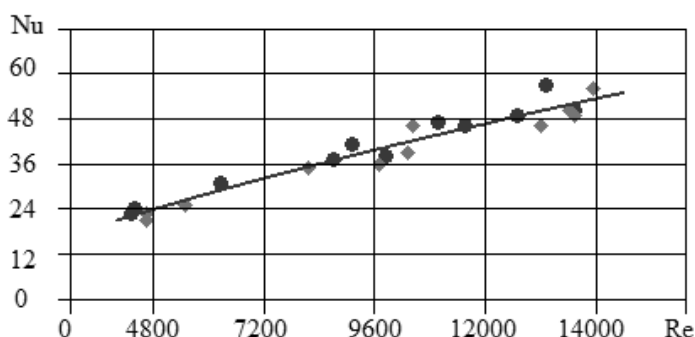
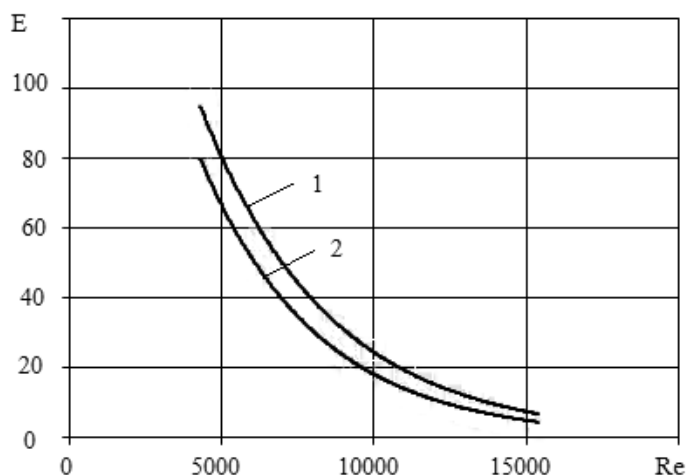


Рис. 2. Сравнение термогидравлической эффективности пучков труб.
 1 – пучок из трубок с продольными турбулизаторами,
 2 – гладкотрубный пучок.



щей значения физических параметров, принималась средняя температура воздуха, омывающего трубки пучка; критерии Нуссельта (Nu) и Рейнольдса (Re) рассчитывались по скорости в сжатом сечении пучка и наружному диаметру трубок пучка. Результаты экспериментального исследования теплообмена приведены на рис. 1.

Как видно, наличие турбулизаторов практически не изменило теплоотдачу на поверхности трубок в пучке и в то же время привело к снижению гидравлического сопротивления. Таким образом, можно считать, что применение продольных турбулизаторов пограничного слоя повышает термогидравлическую эффективность трубной теплопередающей поверхности в диапазоне значений критерия Re , характерных для теплообменных устройств транспортных силовых установок.

Для подтверждения сказанного было выполнено сравнение термогидравлической эффективности гладкотрубных пучков и пучков с продольными турбулизато-

рами. Оценка эффективности поверхности для различных режимов течения и теплообмена производилась с учетом энергетического коэффициента, введенного М. В. Кирпичёвым [4] и модифицированного В. М. Антуфьевым и Г. С. Белецким [5] в виде $E = Q \cdot t_v / (N \cdot \Delta t)$. Здесь Q – количество теплоты, передаваемое в единицу времени поверхностью теплоотдачи, N – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления движению потока, t_v – средняя по сечению канала температура набегающего на пучок труб воздуха, Δt – температурный напор между воздухом и стенками трубок. При расчётах принималась одинаковая теплопередающая поверхность сравниваемых пучков. Результаты сравнения приведены на рис. 2.

Важно отметить, что повышение эффективности работы поверхности теплообмена с продольными турбулизаторами достигается не за счет интенсификации теплообмена, неизбежно сопровождаемого ростом гидравлического сопротивления, а за счет снижения гидравлического сопро-

тивления обтекаемой цилиндрической поверхности при её неизменной теплоотдаче.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прандтль Л. Гидроаэромеханика: Пер. с нем.— М.: Изд-во иностр. литературы, 1951.
2. Чжен П. Отрывные течения: Том. 3.— М.: Мир, 1973.

3. Стоякин Г. М. Снижение гидравлического сопротивления трубных теплообменных аппаратов с продольными турбулизаторами пограничного слоя//Информация и космос.— 2011.— № 2.

4. Кирпичёв М. В. О наиболее выгодной форме поверхности нагрева//Известия ЭНИН АН СССР.— 1944.— Т. 12.

5. Антуфьев В. М., Белецкий Г. С. Теплоотдача и аэродинамические сопротивления трубчатых поверхностей в поперечном потоке.— М.: Машгиз, 1948. ●

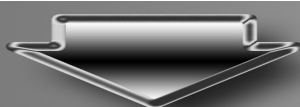
TURBULIZATION IMPROVES HEAT EXCHANGE

Stoyakin, Grigory M. – engineer, lecturer at the department of heat and power engineering of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The heat exchange devices play an important role in operation of transport power engines. The author argues that one of the tasks is to improve heat hydraulic features of plain tubal matrix with the help of artificial turbulization of the flow in the boundary layer near the surface.

Key words: transport power engines, power engineering, heat exchange, tubal heat exchange surfaces, artificial turbulization, experiment, hydraulic test.

Координаты автора (contact information): Стоякин Г. М. – ulipka@ya.ru



ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

ДЕМО-ВЕРСИИ «УМНЫХ СЕТЕЙ» ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ



Mitsubishi Electric Corporation (MELCO) совместно с Mitsubishi Corporation (MC) и Mitsubishi Motors Corporation (MMC) приступают к эксплуатации демо-версии интеллектуальных электросетей для электромобилей M-tech Labo. За счет использования перезаряжаемых батарей обеспечивается равномерность нагрузки на производственные электросети, что приводит

к существенному снижению затрат и энергопотребления.

M-tech Labo состоит из фотоэлектрической системы 20 кВт, пяти заряжаемых от электросети электромобилей и бывших в употреблении перезаряжаемых батарей мощностью 80 кВт/час.

*Представительство
Mitsubishi Electric Europe B. V. в Москве
<http://MitsubishiElectric.ru>*

